

НАЦІОНАЛЬНА АКАДЕМІЯ НАУК УКРАЇНИ
ФІЗИКО-МЕХАНІЧНИЙ ІНСТИТУТ ім. Г.В. КАРПЕНКА

«ЗАТВЕРДЖУЮ»
Директор ФМ НАН України
 **З.Т. Назарчук**
«22» травня 2025 р.

РОБОЧА ПРОГРАМА НАВЧАЛЬНОЇ ДИСЦИПЛІНИ
(Силабус)

Теоретичні основи електрохімічних методів дослідження корозії металів
/код і назва навчальної дисципліни/
рівень вищої освіти: третій (доктор філософії)
галузь знань 16 Хімічна інженерія та біоінженерія
/шифр і назва/
спеціальність 161 Хімічні технології та інженерія
/шифр і назва /
спеціалізація Хімічний опір матеріалів та захист від корозії
/шифр і назва /
вид дисципліни обов'язкова
(обов'язкова / за вибором)
мова викладання українська

Львів – 2025 рік

Робоча програма навчальної дисципліни (Силабус)
Теоретичні основи електрохімічних методів дослідження корозії металів

1. Реквізити навчальної дисципліни

Галузь знань	16 Хімічна та біоінженерія
Спеціальність	161 Хімічні технології та інженерія
Освітня програма	Хімічні технології та інженерія
Рівень вищої освіти	Третій (доктор філософії)
Статус дисципліни	Обов'язкова навчальна дисципліна
Форма навчання	Змішана
Рік підготовки, семестр	1 курс, весняний семестр
Обсяг дисципліни	3 кредити (90 годин)
Семестровий контроль/ контрольні заходи	Екзамен
Мова викладання	Українська
Інформація про керівника курсу / викладачів	Лектор: член-кор. НАН України, проф., д.т.н., Хома Мирослав Степанович, khomams@gmail.com Практичні: член-кор. НАН України, проф., д.т.н., Хома Мирослав Степанович, khomams@gmail.com
Розміщення курсу	www.ipm.lviv.ua ; вільний доступ

2. Структура навчальної дисципліни

Найменування показників	Всього годин
Кількість кредитів/год.	3/90
Усього годин аудиторної роботи, у т.ч.:	60
• лекційні заняття, год.	32
• семінарські заняття, год.	-
• практичні заняття, год.	28
• лабораторні заняття, год.	-
Усього годин самостійної роботи, у т.ч.:	30
• контрольні роботи, к-сть/год.	-
• розрахункові (розрахунково-графічні) роботи, к-сть/год.	
• індивідуальне науково-дослідне завдання, к-сть/год.	
• підготовка до навчальних занять та контрольних заходів, год.	30
Екзамен	1
Залік	-

3. Мета, завдання та результати навчальної дисципліни

Навчальна дисципліна «**Теоретичні основи електрохімічних методів дослідження корозії металів**» розроблена для аспірантів зі спеціальності «Хімічні технології та інженерія» спеціалізації «Хімічний опір матеріалів та захист від корозії» і спрямована на набуття ними необхідних знань з теоретичної електрохімії, на яких ґрутуються сучасні методи дослідження електродних процесів, які перетікають на межі розділу метал–корозивне середовище, та використання їх у наукових дослідженнях в галузі корозії та протикорозійного захисту матеріалів. Аспіранти матимуть змогу освоїти різнопланові методи електрохімічних досліджень та свідомо їх використовувати для оцінювання та прогнозування корозійних властивостей сталей та сплавів в агресивних середовищах і розробляти адекватні методи протикорозійного захисту.

3.1. Мета дисципліни

Поглиблене вивчення теоретичних основ різнопланових методів електрохімічних досліджень рівноважних та нерівноважних процесів у розчинах електролітів; розвинути практичні навички їх використання для встановлення природи і кінетики електродних процесів, а також вміння застосування засвоєного матеріалу для досліджень корозійних процесів і виокремлення основних факторів впливу на швидкість їх перетікання та прийняття рішень з вибору напрямків протикорозійного захисту залежно від реальних умов експлуатації обладнання та деталей машин.

3.2. Основні завдання вивчення навчальної дисципліни

- розкрити теоретичні засади електрохімічних методів дослідження електродних процесів для їх усвідомленого використання при вирішенні задач корозійної тривкості і протикорозійного захисту металів та сплавів;
- розвинути навички використання електрохімічних методів досліджень для встановлення природи електродних процесів;
- засвоїти електрохімічні підходи до встановлення лімітуючої стадії перетікання електродних процесів;
- розвинути навички практичного використання електрохімічних критеріїв для встановлення механізмів електрохімічних реакцій;
- засвоїти підходи до аналізу одержаних результатів досліджень і робити адекватні висновки;
- глибоко розуміти загальні принципи та методи хімічних технологій та інженерії, а також методологію наукових досліджень, застосувати їх у власних дослідженнях у сфері хімічних процесів та апаратів, що працюють в агресивних середовищах, та у викладацькій практиці.

3.3. Результати навчальної дисципліни

Після засвоєння дисципліни аспіранти мають продемонструвати **такі програмні результати навчання:**

Загальні компетентності:

- ЗК01. Здатність до абстрактного та аналітичного мислення, аналізу та синтезу одержаних знань.
- ЗК02. Здатність ідентифікувати актуальні наукові проблеми, ініціювати та проводити оригінальні наукові дослідження та застосовувати нестандартні підходи до вирішення складних і нетипових завдань.

- ЗК03. Здатність генерувати нові ідеї й нестандартні підходи до їх реалізації (креативність).
- ЗК04. Здатність слідувати етичним і правовим нормам у професійній діяльності.
- ЗК06. Уміння брати участь у наукових бесідах, дискусіях на належному фаховому рівні, презентувати результати наукових досліджень в усній та письмовій формі українською та іноземною мовами, організовувати та проводити навчальні заняття.
- ЗК07. Здатність до формування наукових проектів на різні конкурси.

Фахові компетентності спеціальності:

- ФК01. Здатність планувати та виконувати оригінальні дослідження, досягати наукових результатів, які створюють нові знання стосовно корозії та протикорозійного захисту сталей та сплавів та дотичних до них міждисциплінарних напрямках хімічної технології та інженерії.
- ФК02. Всебічне розуміння теоретичних засад електрохімічних методів дослідження електродних процесів та адекватний вибір перспективних напрямків випробувань та забезпечення їх якості.
- ФК04. Здатність виявляти, ставити та вирішувати проблеми в сфері технологічних процесів та апаратів хімічної технології та інженерії, робити адекватні висновки про роботоздатність сталей та сплавів в агресивних середовищах.
- ФК05. Уміти використовувати електрохімічні критерії для встановлення механізмів та кінетики електрохімічних реакцій і на цій основі вирішувати практичні задачі хімічної технології та інженерії.
- ФК06. Здатність написання та публікування статей у фахових журналах та публічної презентації результатів своїх досліджень. Здатність забезпечувати збереження авторських прав.

Програмні результати навчання

Знання:

- РН01. Мати передові концептуальні та методологічні знання з хімічних технології та інженерії, зокрема в галузі корозії матеріалів, а також дослідницькі навички, достатні для проведення наукових і прикладних досліджень на рівні останніх світових досягнень з відповідного напрямку, отримання нових знань та/або здійснення інновацій.
- РН02. Планувати і виконувати експериментальні та/або теоретичні дослідження корозії матеріалів та дотичних міждисциплінарних напрямів з використанням сучасних інструментів, критично аналізувати результати власних досліджень і результати інших дослідників у контексті усього комплексу сучасних знань щодо досліджуваної проблеми.
- РН04. Знати науково обґрунтовані критерії працездатності матеріалів та виробів; фізико-хімічних явищ, які зумовлюють корозійну деградацію матеріалів; умов експлуатації, які спричиняють зниження працездатності виробів, методи і засоби технічної діагностики стану матеріалів і виробів.

Уміння:

- РН09. Планувати й ефективно проводити інформаційно-пошукову роботу в рамках власного дослідження із використанням універсальних і спеціалізованих ресурсів наукової інформації, застосовуючи наукометричні показники і відповідне програмне забезпечення. Здійснювати пошук, аналізувати і критично оцінювати інформацію з різних джерел.
- РН10. Самостійно виконувати наукові дослідження та застосовувати дослідницькі навички за професійною тематикою.

- РН12. Ефективно планувати час для отримання необхідних результатів, що підтверджено відповідним звітуванням та остаточним захистом.
- РН13. Визначати ціннісні та етичні засади наукової діяльності й керуватись ними у власному дослідженні.

Комунікація:

- РН15. Вміти доступно, на високому науковому рівні доносити сучасні наукові знання та результати досліджень до професійної та непрофесійної аудиторії.
- РН16. Представляти результати наукових досліджень через публікації у фахових рецензованих виданнях, в тому числі, внесених до наукометричних баз даних (наприклад, Scopus, Web of Science тощо).

Автономія і відповідальність

- РН17. Здатність усвідомлювати необхідність навчання впродовж усього життя з метою поглиблення набутих та здобуття нових фахових знань.
- РН18. Дотримуватись етичних норм, авторського права та норм академічної доброчесності під час наукових досліджень, презентації результатів, у своїй науково-педагогічній діяльності загалом.

4. Пререквізити та постреквізити дисципліни (місце в структурно-логічній схемі навчання за відповідною освітньою програмою)

Для успішного засвоєння дисципліни аспіранту необхідні знання та уміння, що були отримані під час вивчення дисциплін «Іноземна мова професійного спрямування», «Організація наукової діяльності», «Менеджмент і презентація наукових та освітніх проектів».

Навчальна дисципліна є підготовчою для написання кваліфікаційної роботи аспіранта.

Перелік попередніх та супутніх і наступних навчальних дисциплін

№ з/п	Попередні навчальні дисципліни	Супутні і наступні навчальні дисципліни
1.	Іноземна мова професійного спрямування	Основні принципи розроблення методів та засобів протикорозійного захисту металів.
2.		Методи моделювання процесів на межі розділу фаз на атомно-молекулярном рівні
3.		Фізико-хімічні аспекти корозійно-механічного руйнування металів та сплавів

5. Анотація навчальної дисципліни

Дисципліна «**Теоретичні основи електрохімічних методів дослідження корозії металів**» дає аспірантам глибоке розуміння електрохімічних підходів до вивчення механізмів та кінетики електродних процесів. Вона охоплює основні положення електрохімії та закономірності окисно-відновних реакцій, які перетікають на окремих електродах, і дає змогу встановити їх лімітуючу стадію. Дисципліна розкриває можливості методів лінійної та циклічної вольтамперометрії для визначення їх основних кінетичних характеристик – струму обміну, коефіцієнта переносу і константи швидкості. Вона дає можливість аспірантам освоїти релаксаційні методи електрохімічних досліджень, зокрема, імпульсні потенціо- та гальвано-статичні методи. Предмет показує їм особливості використання змінного струму для досліджень електродних процесів та оцінювання захисних характеристик ізолюючих лакофарбових покриттів. При розляді теоретичного підґрунтя дискового обертового електроду зроблено акценти на вивчення впливу дифузійних процесів на електрохімічні реакції та його можливості для встановлення кінетичних характеристик процесу перенесення електронів.

Дисципліна також знайомить аспірантів з методом визначення швидкості корозії за поляризаційним опором та з термодинамічним методом визначення енергії активації електродних процесів.

6. Опис навчальної дисципліни

6.1. Лекційні заняття

№ з/п	Назви тем	Кількість годин
1.	Вступ. Рівноважні та нерівноважні електродні процеси.	2
2.	Основні положення та закономірності електрохімії. Поляризація. Перенапруга.	2
3.	Класифікація електродних процесів. Оборотно́сть електродних процесів.	2
4.	Основи теорії: - електрохімічної перенапруги; - дифузійної перенапруги; - хімічної перенапруги; - фазової перенапруги.	5
5.	Вольтамперні залежності і визначення основних кінетичних характеристик електродних процесів: струму обміну, коефіцієнта переносу і константа швидкості електрохімічної стадії електродних процесів.	2
6.	Теорія лінійної та циклічної вольамперометрії для фарадеївських процесів. Лінійна вольтамперометрія з різною швидкістю розгортання потенціалу.	2
7.	Циклічна вольтамперометрія. Визначення основних кінетичних характеристик електродних процесів, які контролюються швидкостями дифузії та перенесення заряду.	2
8.	Вплив адсорбції на перебіг електродних процесів. Визначення лімітуючої стадії електродного процесу.	2
9.	Релаксаційні методи електрохімічних досліджень.	2
10.	Імпульсний потенціостатичний метод та гальваностатичний методи.	2
11.	Методи досліджень електродних процесів з використанням змінного струму. Діаграми Найквіста та Боде.	2
12.	Дисковий обертовий електрод. Особливості гідродинаміки та масопереносу поблизу обертового диску. Нестационарні електрохімічні процеси на обертовому дисковому електроді. Обертовий дисковий електрод з кільцем.	3
13.	Метод визначення швидкості корозії за поляризаційним опором. Рівняння Штерна-Гірі.	2
14.	Термодинамічний метод визначення енергії активації електродних процесів.	1
15.	Електрохімічний метод визначення коефіцієнта дифузії та концентрації водню в металах Деванатана-Стахурського-	1
Усього годин		32

6.2. Практичні заняття

№ з/п	Назви тем	Кількість годин
1.	Визначення основних кінетичних характеристик електродних процесів: струму обміну, коефіцієнта переносу і константи швидкості електрохімічної стадії електродних процесів за вольтамперними залежностями.	7
2.	Аналіз результатів досліджень електродних процесів, що одержані методом циклічної вольтамперометрії з різною швидкістю розгортання потенціалу.	7
3.	Аналіз результатів досліджень електродних процесів, що одержані за використання змінного струму. Комп'ютерний аналіз імпедансних спектрів.	7
4.	Визначення енергії активації електродних процесів за термодинамічним методом.	7
Усього годин		28

6.3. Самостійна робота

№ з/п	Найменування робіт	Кількість годин
1.	Підготовка до практичних занять	10
2.	Підготовка до здачі семестрового заліку	20
Усього годин		30

7. Методи діагностики знань

1. Опитування та допуск до виконання практичних робіт.
2. Захист практичних робіт, в тому числі виконаних за індивідуальними завданнями.
3. Екзаменаційний контроль з письмовою та усною компонентами.

8. Критерії оцінювання результатів навчання студентів

Максимальна оцінка в балах				
Поточний контроль (ПК)		Екзаменаційний контроль		Разом за дисципліну
Форма поточного контролю та максимальні бали за виконані завдання	Разом за ПК	письмова компонента	усна компонента	
Підготовка, виконання та захист звітів з лабораторних і практичних робіт: – 1-2 бали за групову роботу; – 2-3 бали за роботу, виконану за індивідуальним завданням.	40	50	10	100

Шкала оцінювання: національна та ECTS

Сума балів за навчальну діяльність	Оцінка ECTS	Оцінка за національною шкалою
90-100	+A, A, -A	
82-89	+B, B, -B	
74-81	+C, C, -C	
64-73	+D, D, -D	
60-63	E	
35-59	FX	

9. Навчально-методичне забезпечення

1. Вказівки до виконання практичних робіт.
2. Завдання до проведення практичних робіт.

10. Рекомендована література Базова

1. Антропов Л.І. Теоретична електрохімія. – К.: Либідь, 1993. – 540 с.
2. Ковальчук Є.П., Решетняк О.В. Фізична хімія: підручник. – Львів: Видавничий центр ЛНУ імені Івана Франка, 2007. – 800 с.
3. Данилов Ф.Й., Проценко В.С. Лінійна та циклічна вольтаперометрія. Книга 1. – Дніпро: Ліра, 2016. – 192 с.
4. Данилов Ф.Й., Проценко В.С. Лінійна та циклічна вольтаперометрія. Книга 2. – Дніпро: Ліра, 2016. – 182 с.
5. Першина К.Д., Каздобін К.О. Спектроскопія імпедансу електролітичних матеріалів. – К.: Освіта України, 2012. – 224 с.
6. Сахненко М.Д., Штефан В.В., Ведь М.В. Лінійна та циклічна вольтаметрія: визначення механізму електродних реакцій. Методичні вказівки до організації самостійної роботи студентів. – Харків: НТУ «ХПІ», 2005. – 32 с.
7. Сахненко М.Д., Артеменко В.М. Кінетика електродних реакцій. – Харків.: НТУ «ХПІ», 2014. – 205 с.
8. Методичні особливості дослідження проникності водню крізь сталеву мембрану з кислого середовища / М.С. Хома, В.Р. Івашків, М.Р. Чучман, Н.Б. Рацька, Х.Б. Василів. - Фіз.-хім. механіка матеріалів. 2023. Т. 59. № 4. С. 51-58.
9. Method of Measurement of Hydrogen Permeation and Determination of Hydrogen Uptake and Transport in Metals by an Electrochemical Technique, ISO 17081:2004 (2004).

Допоміжна

1. E. Legrand, J. Bouhattate, X. Feaugas, H. Garmestani Computational analysis of geometrical factors affecting experimental data extracted from hydrogen permeation tests: II Consequences of trapping and an oxide layer International Journal of Hydrogen Energy 37 (2012) 13574-13582.
2. FangYu Ge, Feng Huang, Wei Yuan, Zhixian Peng, Jing Liu, Y. Frank, Cheng Effect of tensile stress on the hydrogen permeation of MS X65 pipeline steel under sulfide films.-International Journal of Hydrogen . Volume 45, Issue 22, 2020, Pages 12419-12431
<https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2020.02.149>
3. Яцишин М.М., Герцик О.М. Корозія металів. Лабораторний практикум для студентів хімічного факультету. – Львів: Видавничий центр ЛНУ імені Івана Франка. – с. 134.

Інформаційні ресурси

<https://professionals.engineering.osu.edu>
<https://www.researchgate.net>

«ПОГОДЖЕНО»

Завідувач випускової кафедри,
доктор технічних наук, ст.н.с.



Сергій КОРНІЙ